

# Análisis de Electroencefalograma con transformada de Fourier

Tombesi Santiago

*Estudiante de Ingeniería Electricista*  
*Universidad Nacional del Sur, Avda. Alem 1253, B8000CPB Bahía Blanca, Argentina*  
*zanti\_@hotmail.com*  
Agosto 2012

*Resumen:* En la medicina el Electroencefalograma es un análisis que estudia las ondas cerebrales para la detección de anomalías en mismo para su posterior tratamiento. El artículo muestra un método de analizar las ondas cerebrales de manera sencilla utilizando la transformada de Fourier.

*Palabras clave:* Transformada de Fourier, Electroencefalograma, Identidad de Parseval.

## I. INTRODUCCIÓN

El electroencefalograma (EEG) es un análisis que se utiliza para detectar anomalías relacionadas con la actividad eléctrica del cerebro. Este procedimiento realiza un seguimiento de las ondas cerebrales y las registra. Se colocan pequeños discos metálicos con cables delgados (electrodos) sobre el cuero cabelludo y después se envían señales a una computadora para registrar los resultados.

El contenido del EEG se ha dividido en 5 bandas o ritmos para su estudio:

$$\begin{aligned} 0.0 &\leq \varepsilon < 0.5 \text{ Hz} \\ 0.5 &\leq \delta < 4.0 \text{ Hz} \\ 4.0 &\leq \theta < 8.0 \text{ Hz} \\ 8.0 &\leq \alpha < 13.0 \text{ Hz} \\ 13.0 &\leq \beta < 30.0 \text{ Hz} \end{aligned}$$

La actividad eléctrica normal del cerebro forma un patrón reconocible. Por medio de un EEG, los médicos pueden buscar patrones anormales que indiquen convulsiones u otros problemas. La presencia de cada ritmo depende de la ubicación de los electrodos, el estado de conciencia del sujeto y su edad. En general, un daño severo produce una actividad dominante de baja frecuencia.

## II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

El artículo consta de dos secciones: la primera comenta el método de adquisición del EEG y su almacenamiento en disco para su posterior tratamiento y la segunda trata sobre el periodograma como estimador de densidad espectral utilizando la transformada de Fourier.

### A. Adquisición del EEG

La Figura 1 muestra esquemáticamente la adquisición del EEG y su almacenaje, como señal análoga, en cinta magnética (cassette) hasta su digitalización y almacenaje en un disco, previa a ser analizada.

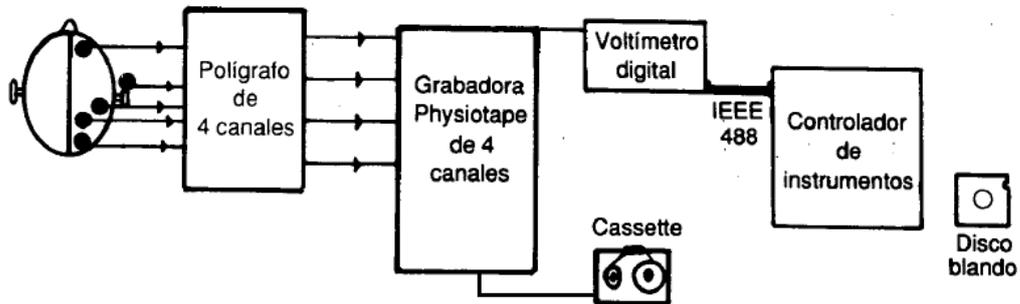


Figura 1: Esquema de la adquisición de un EEG

Los electrodos activos se ubican en las regiones frontal, temporal, parietal y occipital tomando el lóbulo de la oreja ipsilateral como polo indiferente. Los registros se hacen mediante un polígrafo de 4 canales y simultáneamente se graban en una cinta magnética por medio de una grabadora Physiotape de 4 canales. Posteriormente para muestrear y digitalizar el EEG se conecta la grabadora al voltímetro canal por canal, el cual es controlado por controlador de instrumentos, a través del estándar de comunicación IEEE-488.

En el controlador de instrumentos se ejecuta un programa en BASIC que se encarga de disparar el muestreo, leer los datos digitalizados por el voltímetro, 2048 muestras por canal, y almacenarlos en un disco magnético blando junto con información adicional que permite identificar el registro. El muestreo se realiza a 200 Hz, lo cual significa un ancho de banda de 100 Hz, según el teorema de Shannon.

**Teorema 1** La capacidad del canal  $C$  es:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

Donde:

- $B$  es el ancho de banda del canal.
- $C$  es la capacidad del canal (tasa de bits de información bit/s)
- $S$  es la potencia de la señal útil.
- $N$  es la potencia del ruido presente en el canal.

Finalmente, los registros se transfieren a una computadora donde son analizados con múltiples métodos, uno de los cuales utiliza la transformada discreta de Fourier.

### B. El periodograma

Para determinar el contenido frecuencial del EEG muestreado  $f(x)$  se calcula la transformada discreta de Fourier (se utiliza la transformada discreta porque al digitalizarse "x" ha dejado de ser una variable continua):

$$F(w) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-i2\pi \frac{wx}{N}} \quad (1)$$

$w=0,1,\dots,N-1$

$N$ : número de muestras del EEG.

Con la transformada  $F(w)$  se obtiene un estimador de la densidad espectral, conocido como periodograma, y dado por:

$$S(w) = \frac{1}{N} [F(w)]^2 \quad (2)$$

Donde  $S(w)$  es el Periodograma del EEG  $f(x)$ .

El estimador (2) presenta un sesgo que disminuye al incrementar el número de muestras N y una varianza proporcional al cuadrado del espectro real. Para mejorar la estimación, se utiliza el periodograma modificado que consiste en un promedio de periodogramas así:

$$S'(n) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L S_i(n) \quad (3)$$

$n = 0, 1, \dots, M-1$

$S_i(n)$ : Periodograma para cada uno de los L segmentos en que se dividió el registro.

En resumen el EEG original de longitud N se divide en L segmentos de longitud M cada uno ( $N = L.M.$ ). Para cada segmento se obtiene el periodograma (2) y posteriormente se promedian los L periodogramas como señala (3).

Para cuantificar la potencia de EEG en los diferentes ritmos se recurre al teorema de Parseval, con lo que en este caso no queda:

$$\sum_{x=0}^{LN-1} f^2(x) = \frac{1}{N} \sum_{w=0}^{N-1} [F(w)]^2 \quad (4)$$

Esta expresión relaciona el contenido de potencia del EEG en el tiempo con la potencia en la representación frecuencial.

### C. Ejemplo

La Figura 2 es un segmento de EEG tomado en la región occipital derecha de un sujeto adulto, es claro que un análisis en el tiempo por conteo de picos es difícil debido a la contaminación.

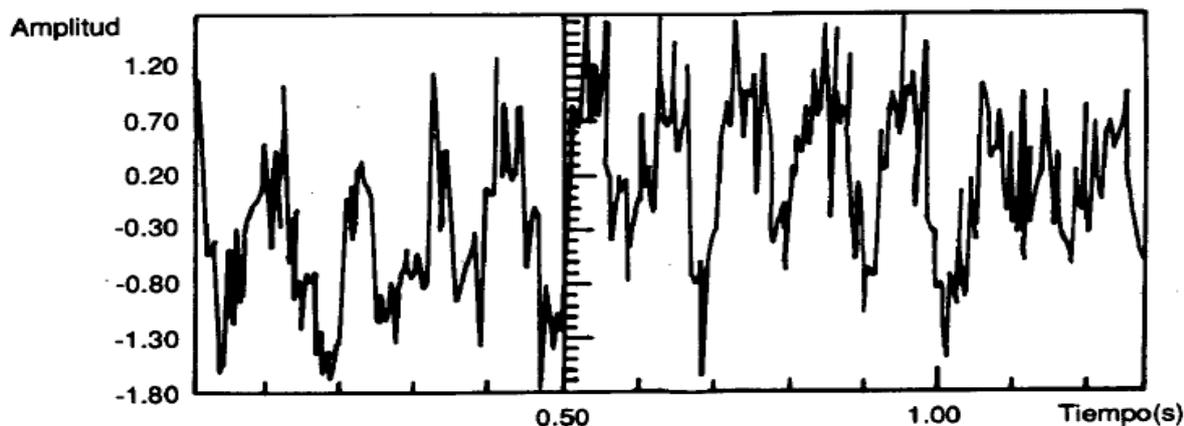


Figura 2: Registro EEG tomado en la región occipital derecha de un sujeto adulto.  $N=256$ ,  $f_s=200$  Hz

La Figura 3 es el estimador de la densidad espectral para el registro de la Figura 5. Se observa una frecuencia dominante en la banda Alfa, este resultado muestra que el periodograma es más confiable para estimar el contenido frecuencial del EEG que el conteo de picos. La presencia de una señal a 60 Hz se explica por la inducción debida a la tensión que alimenta el laboratorio.

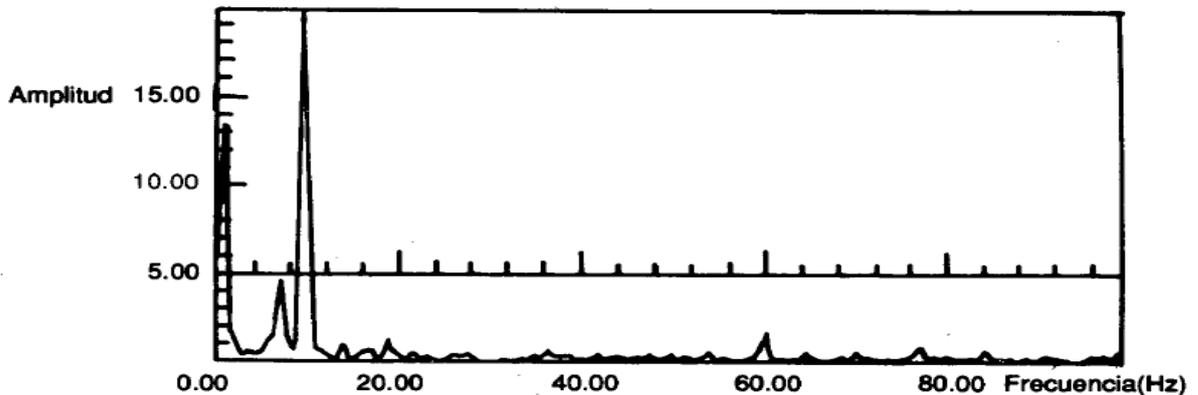


Figura 3: Periodograma del registro de la figura 2; el ritmo alfa es dominante

La Figura 4 es el periodograma modificado (N=2048, L=8) de un registro EEG tomado en la región occipital izquierda de un sujeto adulto. Los valores normalizados de potencia, utilizando Parseval, se incluyen para cada banda.

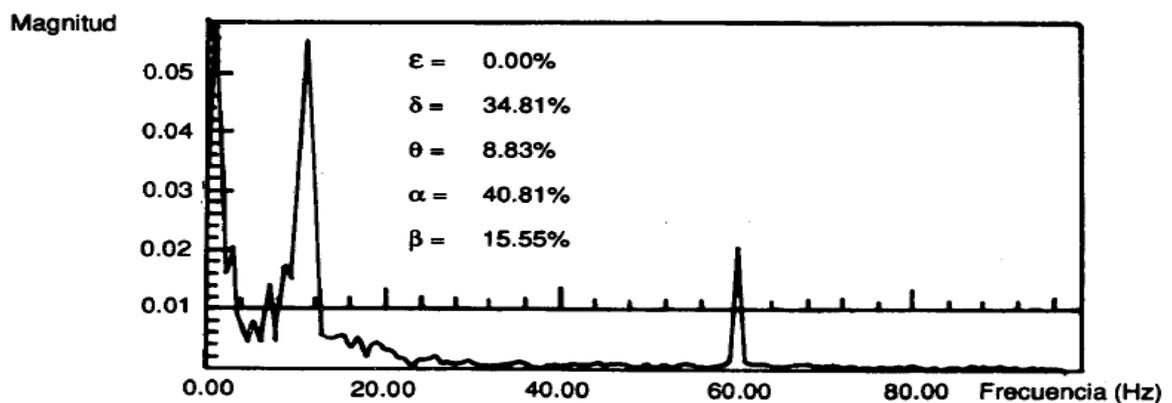


Figura 4: Periodograma modificado de un registro EEG con los porcentajes de potencia para cada ritmo.

### III. CONCLUSIÓN:

Por más que la tecnología para la adquisición de los datos haya evolucionado (los cassettes y disco blandos actualmente son obsoletos), el método explicado en el artículo utilizando la transformada de Fourier y la identidad de Parseval da muy buenos resultados, ya que sería imposible estudiar las ondas en función del tiempo (Por ejemplo, la figura 4 permite una comprensión mucho más simplificada y eficiente que la figura 2). Por otro lado cabe destacar el aporte que le hace la ingeniería a la medicina, permitiendo estudiar algo tan complejo como es el cerebro humano de una manera sencilla, lo que sirve para prevenir y curar enfermedades y así mejorar la calidad de vida de las personas.

### REFERENCIAS

- [1] J. A. Delgado, "Análisis de electroencefalograma con transformada de Fourier y modelos paramétricos", [internet], disponible en [www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingeiniv/article/.../21656](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingeiniv/article/.../21656), [acceso el 24 de Agosto de 2012].
- [2] Kidshealth, electroencefalograma, [internet], disponible en [http://kidshealth.org/parent/en\\_espanol/medicos/eeg\\_esp.html](http://kidshealth.org/parent/en_espanol/medicos/eeg_esp.html), [acceso el 24 de Agosto de 2012].
- [3] Wikipedia, *La enciclopedia libre*, [internet], disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/>, [acceso el 24 de Agosto de 2012].